

## **CSUSZAMLÁSVESZÉLYES LEJTŐK HELYÉNEK BECSLÉSE A GERECSÉBEN TAPASZTALATI VÁLTOZÓK ALAPJÁN**

GERZSENYI DÁVID – ALBERT GÁSPÁR

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ESTIMATIONS IN THE GERECSÉ HILLS

### **Abstract**

Mass movement processes on slopes have been studied for a long time in the Gerecsé Hills (Hungary) since they pose a threat to property both in densely populated and agricultural areas. Yet a comprehensive GIS based geostatistical analysis has not been made for the whole area. Qualitative data were acquired from the landslide-inventory map of the National Landslides Cadastre (NLC) and from the Geological Map of Hungary (1:100 000). Morphometric parameters derived from the SRMT-1 DEM were used as quantitative variables. Based on these data a landslide hazard map was created using a “likelihood ratio function model” (CHUNG 2005) with elevation, slope, aspect, and categorized geological features as predictor variables. The model compares the distribution of these variables in the landslide and non-landslide areas. The hazard map shows how similar a certain area is to the areas already affected by mass movements and marks the highly similar areas as hazardous. It can also serve as a base for more complex landslide vulnerability studies involving economic factors. A complementary field survey was also carried out that aimed at updating the landslide inventory with respect to the activity of the sites in one of the most landslide-affected area.

**Keywords:** landslide hazard, geomorphometry, Gerecsé Hills, likelihood ratio functions, landslide inventory

### **Bevezetés**

A Gerecsé ismertebb felszínmozgásos területei már számos hazai és nemzetközi kutatás tárgyai voltak és több, a témát érintő tematikájú vagy erre fókuszáló geotudományos térkép is készült a területről (pl. VIGH GY. 1931; ÁDÁM L. 1985; SCHEUER GY. – SCHWEITZER F. 1988; SCHWEITZER, F. 1989; BALOGH J. – SCHWEITZER F. 2011; KIS É. – BALOGH J. 2013). Magasságmodellből levezetett morfológiai adatokat ezek viszont nem használtak fel és a hegység területének töredékét dolgozták csak fel.

A felszínmozgásokat, köztük a csuszamlásokat ábrázoló térképeknek négy fajtáját különböztethetjük meg (PARISE, M. 2001): 1. *csuszamlás-kataszteri* térképek, 2. *felszínmozgás-aktivitást vizsgáló* térképek, 3. *relatív csuszamlás-veszélyességi* térképek és 4. *felszínmozgás-érzékenységi* térképek. Az utóbbiak nem csupán a jövőbeni felszínmozgások lehetséges helyét jelölik ki, hanem az esetleges környezeti és anyagi károk mértékére is becslést szolgáltatnak. A kárbecsléshez, így az érzékenységi térképek elkészítéséhez is elengedhetetlen más tudományterületek szakembereinek bevonása.

Az első térkép-kategóriába tartozó Országos Felszínmozgás Kataszter (MBFH) adatait felhasználva és morfológiai elemzések eredményeivel kiegészítve elkészítettük a Gerecsé relatív felszínmozgás-veszélyességi térképét. A kutatás során azt vizsgáltuk, hogy a már lezajlott felszínmozgások területére jellemző geomorfológiai paraméterek és földtani jellemzők alapján kijelölhetők-e a jövőben csuszamlásra hajlamos területek. A kutatás célterületén, a Gerecsében – különösen a laza üledékekkel borított hegylábi lejtőkön, a patak völgyekben és a Duna menti magaspartonknál – ma is jelentős a különböző felszínmozgások felszínformáló hatása. Ezek nem csupán természettudományos érdekességek, hanem a Gerecsé környéki településeken és művelésbe vont területeken akár emberéletet

veszélyeztető és vagyoni károkat okozó fenyegetésként is jelentkezhetnek (PÉCSI M. et al. 1979; FODOR T. et al. 1983; KIS É. – BALOGH J. 2013; ALBERT G. 2013).

### Földtani és geomorfológiai jellemzők

A Dunazug-hegyvidék legnyugatibb tagját alkotó hegység három részre, a Nyugati-, a Központi- és a Keleti-Gerecsére osztható. É-on a Duna, Ny-on az Által-ér, K-en a Dorogi-medence határolja, D-en pedig a Tatai-árok választja el a Vértestől (1. ábra). Területe kb. 850 km<sup>2</sup>, domborzatát sasbércek É–D-i irányú sorai, hegyközi medencék és eróziós patak-völgyek jellemzik (JUHÁSZ Á. 2002).



**Az Országos Felszínmozgás Kataszterben jelölt felszínmozgás (A)**

1. ábra Felszínmozgások a Gerecsében az Országos Felszínmozgás Kataszter alapján.

Alap: Google maps, domborzati nézet (Google)

Figure 1 Mass movement sites of the National Landslides Cadastre (NLC) in the Gerecse Hills.

Base layer: Google maps, terrain view (Google) – A – NLC site

A Gerecse legidősebb kőzeteit felsőtriász dolomit, dachsteini mészkő, jura és kréta időszaki mészkőformációk, valamint kréta durvatörmelékcsővezeték adják. Rájuk a középső eocénben agyagos, márgás és széntelepes tengeri üledékek rétegződtek. Kihantolódásuk csak a miocénben kezdődött meg, s ma csak a magasabb sasbérceken bukkannak ki az üledéktakaró alól. A szerkezeti árkokban az oligocénben homok, márga és kavics rakódott le, peremükön pedig a miocén–kora pliocénben selfperemi deltakavics, homok, agyag és lignit képződött (MAGYAR I. et al. 2013). A hegylábi területek feltagolódása, ezzel együtt a hegylábi völgyek és a medencék kialakulása a késő pliocénben kezdődött, többek között az eróziós völgyek és a Duna bevágódásának hatására. Ezeket a részeket a későbbiekben negyedidőszaki erózió és lejtős tömegmozgások formálták (SCHAREK, P. et al. 2000; KELE S. 2009; RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs. et al. 2015). A hegység legnagyobb részét ma negyed-

időszaki édesvízi mészkő, lösz, folyóvízi kavics és homok borítja (BUDAI T.–GYALOG L. [szerk.] 2010). A különböző felszínmozgások ma is aktív felszínformáló erőként működnek a területen, különösen a többnyire löszös fedettségű hegylábi lejtőkön és a patak völgyek oldalában. A hegység É-i részén fekvő Duna-parti települések környezetében ez súlyos károkat okozó veszélyforrás lehet (PÉCSI M. et al. 1979; FODOR T. et al. 1983; ALBERT G. 2013; KIS É.–BALOGH J. 2013).

## Elemzési módszerek

A vizsgált területen belüli, csuszamlásra hajlamosabb területek kijelölésére a „*likelihood ratio function model*” alkalmas abban az esetben, ha a csuszamlási kataszter rendelkezésre áll (CHUNG, C. 2005; DAVIS, J. C. et al. 2006). E módszerrel egy adott területet lefedő rácsháló (grid) celláira relatív veszélyességi értékeket lehet meghatározni morfológiai és földtani adatok térbeli eloszlásának vizsgálatával, a korábban tapasztalt felszínmozgások helyeinek ismeretében. A modell alkalmazásához szükséges adatokat a vizsgált területre vonatkozóan az *Országos Felszínmozgás Kataszter* (OFK), *Magyarország földtani térképe* (1 : 100 000) és az 1” felbontású *SRTM* (Shuttle Radar Topography Mission; FARR, T. G. et al. 2007) modell *magassági* adatai szolgáltatják. Utóbbi esetében a magasságmodellből levezetett morfológiai paraméterek (*lejtőmeredekség* és *kitettség*, azaz lejtőirány) kiszámítása is szükséges. A modellből készült elemzések eredményei tulajdonképpen azt mutatják be, hogy az egyes területek az előbbi paramétereik alapján mennyire hasonlítanak a területen már lezajlott felszínmozgásokra. Az ezek összesítése alapján elkészíthető térkép így relatív becslést szolgáltat arra nézve, hogy az egyes területrészek a többihez képest milyen valószínűséggel válhatnak maguk is felszínmozgások áldozatává. Az elemzésekhez használt egyes morfológiai paraméterek, illetve a belőlük megállapított „*relatív valószínűségi értékek*” közül nem mind használhatók fel a mintaterülettől távolabb eső, más területekre. Ezek az úgynevezett lokális paraméterek, amelyeket helyi szinten lehet alkalmazni.

## Az elemzéshez felhasznált alapanyagok

Az elemzésekhez felhasznált adatok mind szabadon hozzáférhetőek. Az *SRTM* 1” magasságmodell kvázi globális, Magyarország földtani térképe pedig országos lefedettségű, és az *Országos Felszínmozgás Kataszter* is az ország jelentős részére tartalmaz adatokat.

### *Magasságmodellből levezetett morfológia-paraméterek*

Az elemzések alapjául szolgáló morfológia-paraméterek levezetése a NASA kvázi globális lefedettségű, szabadon hozzáférhető *SRTM* 1” magasságmodelljének (FARR, T. G. et al. 2007) adataiból történt. Jelenleg a hazánk területére is elérhető, szabadon hozzáférhető magasságmodellek közül (EU DEM, Aster GDEM, *SRTM* 3”, *SRTM* 1”) ez a legalkalmasabb a geomorfológiai földfelszín-analízishez (GUTH, P. L. 2010; JÓZSA, E. 2015). Természetesen, mint minden más magasságmodell, az *SRTM* 1” is tartalmaz bizonyos hibákat: a névleges abszolút magassági pontosságot 16, a relatív magassági pontosságot pedig 12 m-ben állapították meg a feldolgozás során (FARR, T. G. et al. 2007). Ezek valódi mértékének és jellegének felderítése, illetve a hibák korrekciója már számos kutatás tárgya volt. A pontosságot befolyásolhatja például a növényzeti fedettség (HOFTON, M. et al. 2006) vagy a felszín lejtésének meredeksége és iránya is (SHORTRIDGE, A.–MESSINA, J. 2011;

BLAGA, L. 2012). A vizsgált területen az eredeti SRTM-adatok kerültek felhasználásra. Megfelelő felbontású és naprakész felszínborítottsági adatbázis hiányában a növényzeti fedettséggel nem korrigáltuk az adatokat, így a FARR, T. G. és munkatársai (2007) által megállapított hibahatárokat fogadtuk el. A felhasznált két morfometria-paraméter, a lejtőmeredekség (0–90°) és a kitettség (0–360°) egyes cellákra vonatkozó értékeit a SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses; CONRAD, O. et al. 2015) geoinformatikai szoftver Slope, Aspect, Curvature moduljával (HARALICK, R. M. 1983) számítottuk ki.

### *Országos Felszínmozgás Kataszter*

Az Országos Felszínmozgás Kataszter (OFK) felmérése 1972-ben kezdődött a Központi Földtani Hivatal irányítása alatt, a munkába több hazai kutatóintézet, egyetem és állami vállalat szakemberei is bekapcsolódtak. A felmérés egységesített adatlapokra készült, amelyekre a felszínmozgások helye, ideje, az érintett terület kiterjedése és a mozgás típusa mellett felvitték az okozott kárt, a terület földtani és talajjellemzőit, a növényzeti fedettséget, beépítettségét, a lehetséges okokat és a javasolt védekezési munkálatokat is (PÉCSI M. et al. 1976). Ezeket az adatokat a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) és területi szolgálatai az 1980-as évek közepére rendszereztek. A nyolcvanas években megkezdődött az addig felmért adatok ellenőrzése. Ez már 1 : 2000, illetve 1 : 4000-es méretarányú térképlapokon történt. A felszínmozgásos területek adatlapjai többek között a felszínmozgások jellegét, területük talajtani adottságait, az addigi és a jövőre javasolt védekező munkákat tárgyaló, részletes leírással bővültek. Ezen kívül megtörtént a területek veszélyességi kategóriákba sorolása is (pl. Baranya megyére: VÁRSZEGI K. 1984). Ezeket a vizsgálatokat a következő években talajmechanikai fúrások mintáinak vizsgálatából származó adatokkal egészítették ki (MBFH). Később részben ezeknek az adatoknak alapján, mintegy a felmérés összefoglalásaként, bizonyos területekre (pl. Budapest: RAINCSÁKNÉ KOSÁRY Zs. 1979; TÖRÖK E. 1983) olyan településgeológiai térképek készültek, amelyek a potenciálisan felszínmozgásos területeket is ábrázolják.

Az OFK digitális változata az eredeti kataszter adatai mellett a 2013–2014-es Somogy és Baranya megyei reambuláció és a Somogy megyei Országos Pince és Partfal Veszélyelhárítási Szakértői Bizottság adataival is kiegészült. Ezen kívül még légi felvételek és műholdképek elemzéséből származó új adatokat is tartalmaz. Ezek a vektoros formátumú adatok részben egy-egy pontra vonatkoznak, részben pedig poligonok által lehatárolt területek. Ez az egész országra összesen 1186 poligont jelent, ebből a vizsgált területen 50 található, amelyek nagyrészt a hetvenes években felmért eredeti adatok durva (elnagyolt körvonalakat produkáló) digitalizálásával jöttek létre. Az adatbázis attribútum-táblájában a felszínmozgások helye (megye és település), lezajlásának ideje, periodicitása, típusa, állapota, szélessége, hosszúsága, a helyszín beépítettsége, a mozgás lehetséges oka és a megépített védművek szerepelnek. A felszínmozgásokat az adatbázisban mozgás szerint öt kategóriába sorolták: ismeretlen, nyugalomban, mozgásban, mentesített és részben mentesített. A vizsgált gerecsei területen csak „ismeretlen”, „nyugalomban” vagy „mozgásban” állapotú poligonok találhatók, amelyek között jelentős az átfedés.

### *Földtani térképből levezetett adatok*

Az elemzésekhez szükséges földtani adatokat Magyarország 1 : 100 000-es méretarányú földtani térképe (GYALOG L.–SÍKHEGYI F. 2005) szolgáltatta. A térkép az ország egész területére szolgáltat felszíni földtani adatokat. Az MFGI weboldaláról elérhető térképes alkalmazás adatbázisában a felszíni földtani képződmények földtani indexe, neve és

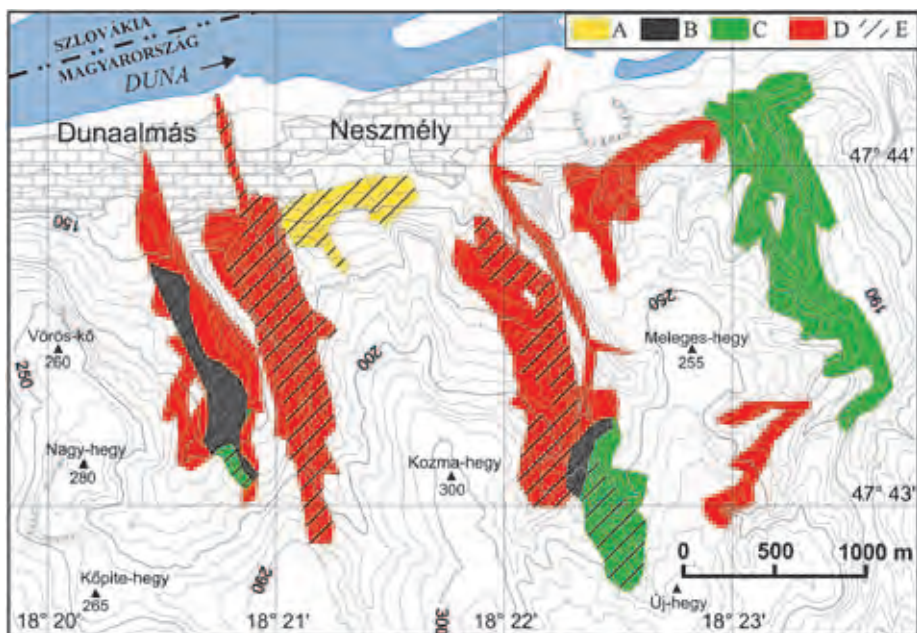
kőzetösszetétele is megtalálható. A mintaterületen található képződmények kategorizálása a térképhez készült magyarázó segítségével történt (GYALOG L. [szerk.] 2005). Így összesen hat kategória került meghatározásra, részben KIS É. – BALOGH. J. (2013) munkája alapján:

1. cementált (negyedidőszaknál idősebb) törmelékes üledékek,
2. folyóvízi üledékek,
3. cementált fiatal (negyedidőszaki) karbonátos kőzetek,
4. löszök,
5. idős karbonátok,
6. negyedidőszaki áthalmozott, lejtőn mozgó törmelékes üledékek.

Ezután az adatbázisban az egyes képződmények a hozzájuk tartozó kategóriát és az ahhoz tartozó számértékeket tartalmazó attribútumokkal egészültek ki. A megállapított kategóriák némileg eltérnek más, hasonló módszert használó munkákeitől. DAVIS, J. C. és munkatársai (2006) öt kategóriát határoztak meg: mészkövek (*limestone*) glaciális üledékek (*glacial drifts*), palás kőzetek (*shale*), alluviális képződmények (*alluvium*) és löszök (*loess*). A különbségeket a vizsgált területek földtani különbözősége indokolja.

## Terepbejárás

A terepbejárás célja az Országos Felszínmozgás Kataszter adatbázisában ismeretlen állapotúként jelzett felszínmozgásos területek állapotának felderítése volt a Gerecse É-i peremén levő patak völgyekben. A bejárás során három, Neszmélynél a Dunába torkolló patak völgy kérdéses állapotú területeit vizsgáltuk: az Akasztó-hegy Ny-i oldalán húzódó *Izsán-völgyet*, K-i oldalán a *Nyároska-völgyet*, valamint a *Disznóskúti-völgy* felső szakaszát (2. ábra).



2. ábra Javasolt módosítások a felszínmozgás-kataszterben a terepbejárás után. – A – ismeretlen; B – nyugalomban-mozgásban átfedés; C – nyugalomban; D – mozgásban; E – a bejárás előtt ismeretlen állapotú

Figure 2 Proposed changes in the landslide inventory after the field survey. – State of activity: A – unknown;

B – inactive-active overlapping; C – inactive; D – active; E – unknown before the field survey



Az eddig ismeretlen állapotúként jelölt területek besorolását a terepi észleléseken kívül KIS É. és BALOGH J. (2013) tanulmányának térképes ábrái is segítették. A terepbejárás észlelései alapján összesen hat ismeretlen állapotú poligon besorolása került módosításra az adatbázisban (1. táblázat).

1. táblázat – Table 1

Felszínmozgásos területek állapotának változása a bejárt területen  
Changes in the state of activity of landslide inventory sites in the surveyed area

Azonosító	Mozgástípus	Új állapot
OEV_1103-050-3	szeletes földcsuszamlás	mozgásban
OEV_1103-050-4	szeletes földcsuszamlás	mozgásban
OEV_1103-140-11	omlás	mozgásban
OEV_1103-140-13	szeletes földcsuszamlás	mozgásban
OEV_1103-140-8	rétegcsúszás	nyugalomban
OEV_1103-050-2	omlás	nyugalomban

A módosításokat a kataszterben szereplő más – ismert eredetű – felszínmozgások poligonjaival nem átfedő részek helyszíni vizsgálatával határoztuk meg. Aktív (mozgásban levő) állapotúnak azok a területek tekinthetők, ahol a közelmúltban lezajlott vagy folytatódott felszínmozgásokra utaló nyomok találhatók; ezt elsősorban a növényzeti fedettség és a felszín erodáltsága alapján vizsgáltuk. Nyugalomban levőnek pedig azok a részek tekinthetők, ahol a csuszamlás felszíne az elmúlt évszázak ciklicitás során stabil maradt. VARNES, D. J. (1978) alapján ezek az aktív és inaktív kategóriáknak felelnek meg.

A teljes mintaterületen a felszínmozgásos területek állapot szerinti megoszlását az eszközölt módosítások után a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat – Table 2

A kataszterben jelzett felszínmozgásos területek állapota a mintaterületen  
State of activity of the landslide inventory sites in the study area

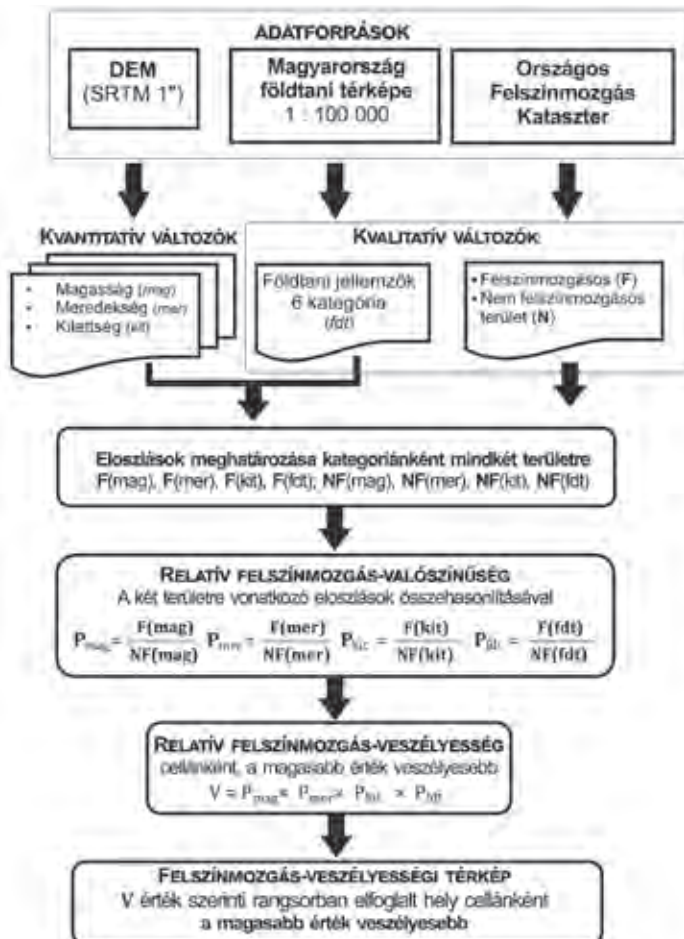
Állapot	Arány
ismeretlen	31%
nyugalomban	29%
mozgásban	40%

## Elemzések

Az elemzések elvégzésének lépései jól meghatározható logikai sorrendben követik egymást, és az alábbiakban ismertetésük is ebben a sorrendben következik. Ezt a folyamatot szemlélteti a 3. ábra.

### Az elemzések alapanyagainak előkészítése

Az első lépés a vizsgált terület lehatárolása és a kvantitatív, illetve kvalitatív tapasztalati változókat tartalmazó raszteres adatmodellek (gridek) felbontásának meghatározása volt. A morфомetriai paramétereket tartalmazó gridek az eredeti magasságmodellből, azzal meg-



3. ábra A relatív veszélyességi térkép elkészítése a „likelihood ration function model” módszerrel  
Figure 3 Drawing the relative hazard map using the „likelihood ratio function model”

egyező felbontásban kerültek előállításra. Ez 1''-os, azaz kb. 30 m-es felbontásnak felel meg. A kvalitatív adatokat tartalmazó gridek is ezt a felbontást örökölték kezdeti értéként.

A kvalitatív (minőségi) adatokat tartalmazó vektoros állományok raszterizálása előtt az egyes minőségi adatokhoz egy-egy számértéket rendeltünk. A földtani térkép adatai esetében ez az érték az egyes kategóriák száma lett (1-től 6-ig). A felszínmozgások helyét jelző poligonokat az OFK vektoros állománya tartalmazta, ezek raszteressé alakításakor kétféle grid került létrehozásra. Az egyik pusztán a felszínmozgásos területek lehatárolására szolgált, a nem felszínmozgásos területek celláin 0, a felszínmozgásosokén pedig 1 értéket kapott. A felszínmozgásos területek állapotát tartalmazó grid esetében az ismeretlen állapotú területek értéke 0, a nyugalomban levőké 1, a mozgásban levőké pedig 2 lett. Az állapot szerinti besorolásnál az átfedő területek esetében az egyes cellák értéke a lehetséges értékek közül mindig a nagyobb lett (ismeretlen < nyugalomban < mozgásban). A felszínmozgás-veszélyesség szempontjából tehát a legrosszabb (legveszélyesebb) lehetőséget vettük figyelembe.

A már kategorizált földtani adatokat tartalmazó vektoros állomány raszterizálása ennél háromszor nagyobb felbontású (~10 m) gridbe történt. Ezt a sűrítést – amelyhez hasonlólt már DAVIS, J. C. és munkatársai (2006) is alkalmaztak – az indokolja, hogy az eredeti, kb. 30 m-es felbontást használva az állomány celláinak több mint 10%-a kaphatott volna két vagy akár több kategória szerinti értéket is. Jellemzően ilyen problémás területek voltak a poligonok egymással érintkező élei és csúcsai által érintett részek. A felbontás sűrítésével ezt az arányt sikerült 4% körülire csökkenteni. Ahhoz, hogy az elemzéshez szükséges műveletek elvégezhetők legyenek, az elemzésekhez használt többi gridet is ezzel azonos felbontására kellett sűríteni. A sűrítés a *legközelebbi szomszédok (nearest neighbour)* módszerével történt, így a cellák területén létrejövő kilenc új cella az eredeti cella értékével megegyező értéket kapott.

### Az elemzések elvégzése

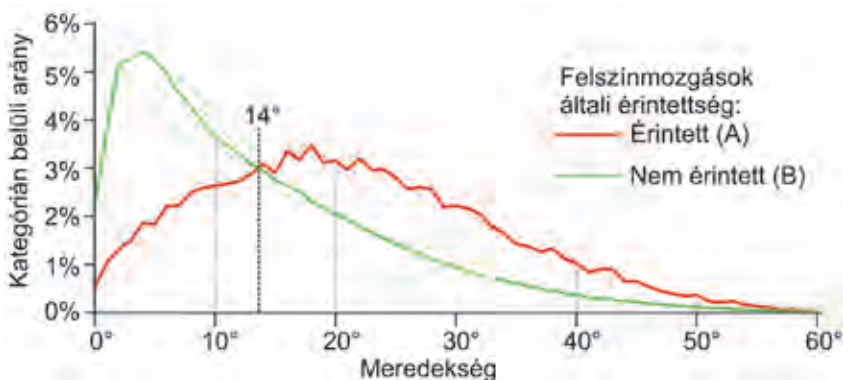
Az alapanyagok előkészítése után az egyes paraméterek eloszlásának meghatározása következett, a felszínmozgások által érintett ( $F_{\text{kategória}}$ ) és a nem érintett ( $NF_{\text{kategória}}$ ) területekre. Ezek az egyes paraméterek egészre kerekített értékeinek eloszlását mutatják a felszínmozgásos és a nem felszínmozgásos területekre.

Pl.: lösszel fedett (4. földtani kategória) területekre:  $F_{\text{fdt}}(4) = 62,7\%$ ,  $NF_{\text{fdt}}(4) = 57,2\%$ , azaz a felszínmozgásos rész 62,7%-a, a nem felszínmozgásosnak pedig 57,2%-a lösszös.

A csak a felszínmozgásos területekre vonatkozó adatokat tartalmazó grid-ek a felszínmozgásos területeket 1 értékkel jelölő grid-del való szorzással jöttek létre. E grid komplementerével (érintett terület = 0, nem érintett = 1) való szorzással pedig a felszínmozgások által nem érintett területekre vonatkozó grid-ek álltak elő. Ezek vizsgálatával kiszámítható, hogy az egyes *magassági* ( $F_{\text{mag}}, NF_{\text{mag}}$ ), *lejtőszög*- ( $F_{\text{mer}}, NF_{\text{mer}}$ ), *kitettség*- ( $F_{\text{kit}}, NF_{\text{kit}}$ ) és *földtani kategóriák* ( $F_{\text{fdt}}, NF_{\text{fdt}}$ ) szerinti értékek milyen arányban fordulnak elő a két területen. Ezeknek az arányszámoknak a hányadosa megadja, hogy az egyes értékek hányszor nagyobb eséllyel (*relatív valószínűséggel*,  $P_{\text{változó}}$ ) fordulnak elő a felszínmozgások által érintett területeken:

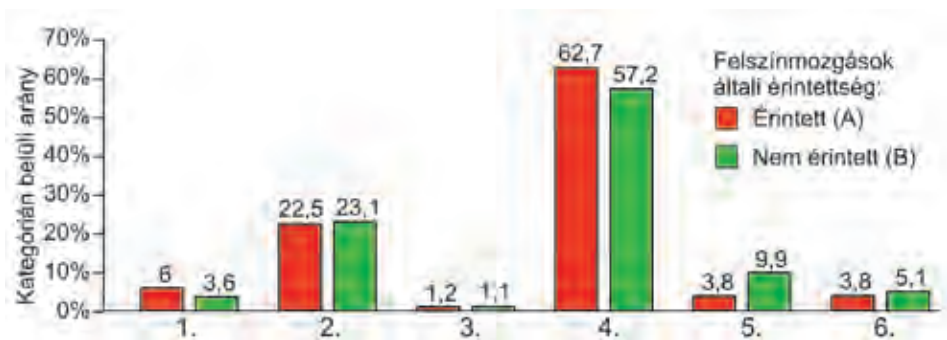
$$P_{\text{mer}} = \frac{F_{\text{mer}}}{NF_{\text{mer}}}, \quad P_{\text{mag}} = \frac{F_{\text{mag}}}{NF_{\text{mag}}}, \quad P_{\text{kit}} = \frac{F_{\text{kit}}}{NF_{\text{kit}}}, \quad P_{\text{fdt}} = \frac{F_{\text{fdt}}}{NF_{\text{fdt}}}$$

A *lejtőmeredekség* ( $P_{\text{mer}}$ ) és a *földtani kategóriák* ( $P_{\text{fdt}}$ ) szerinti eloszlásokat a 4. illetve a 5. ábra szemlélteti.



4. ábra A meredekségi értékek eloszlása a felszínmozgásos (A) és nem felszínmozgásos (B) területeken  
Figure 4 Distribution of slope values in landslide and non-landslide areas. – A – landslide area, B – non-landslide area





5. ábra Felszínmozgásos (A) és nem felszínmozgásos területek (B) kategorizált földtani jellemzői.

– 1 – cementált (negyedidőszaknál idősebb) törmelékes üledékek; 2 – folyóvízi üledékek;  
3 – cementált fiatal (negyedidőszaki) karbonátos kőzetek; 4 – löszök; 5 – idős karbonátok; 6 – negyedidőszaki áthalmazott, lejtőn mozgó törmelékes üledékek

Figure 5 Categorized surface geology features in landslide and non-landslide areas.

– 1 – cemented sediments (Tertiary and older); 2 – fluvial sediments; 3 – cemented carbonates (Quaternary); 4 – loess;  
5 – older carbonates; 6 – Quaternary slope deposits. A – landslide area B – non-landslide area

A relatív valószínűségi eloszlások meghatározása után a grid-ek cellái az értéküknek megfelelő relatív valószínűségi értékeket kapták meg mindegyik változóra. Az így létrehozott négy állomány adatai tehát azt mutatják meg, hogy celláik az egyes paraméterek szerint mennyire hasonlítanak a felszínmozgásos területek értékeire.

A relatív veszélyességi értékeket (V) tartalmazó állomány ezek után a relatív valószínűségeket (P) tartalmazó grid-ek összeszorozásával áll elő:

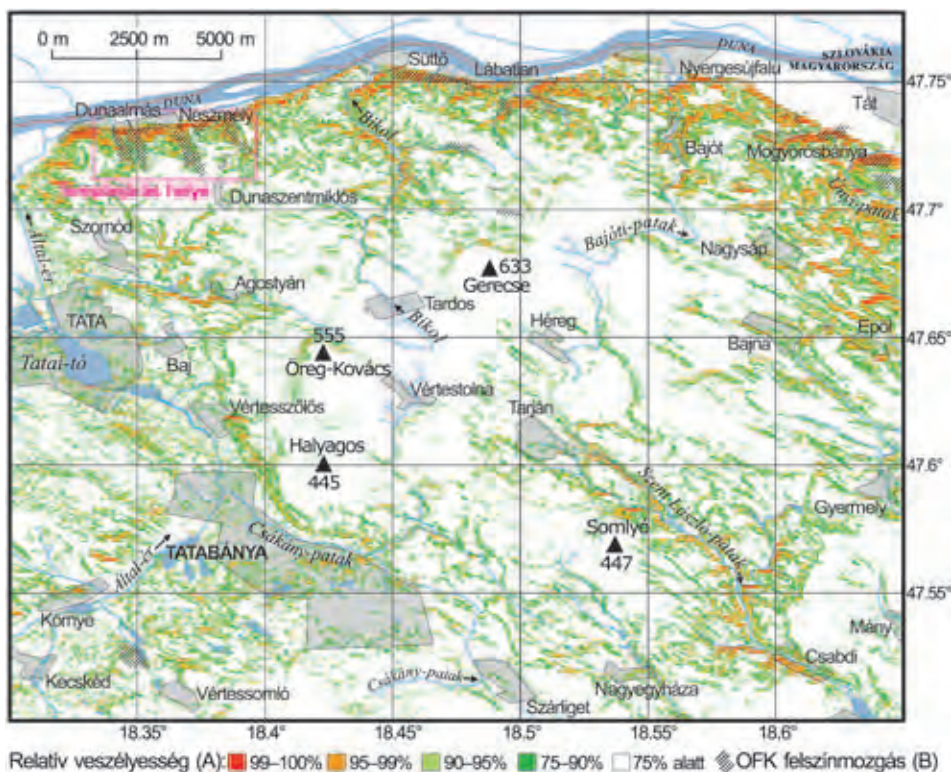
$$V = P_{\text{mag}} \cdot P_{\text{mög}} \cdot P_{\text{ki}} \cdot P_{\text{tör}}$$

Ennek adatai dimenzió nélküli számok (0–35,97), a nagyobb érték nagyobb veszélyességet jelez a vizsgált területen belül. A térképen a cellák ezen értékek százalékos rangsorában elfoglalt helye került ábrázolásra. A 99–100%-os kategória például a területnek a becslések alapján leginkább veszélyeztetett 1%-át jelöli ki.

### Az eredmények értékelése

Az elemzések végeredményeként kapott relatív felszínmozgás-veszélyességi értékeket a teljes gerecsei mintaterületre a 6. ábra relatív felszínmozgás-veszélyességi térképe szemlélteti. Az elemzésekhez felhasznált grid-állományok a Gerecse környezetére, összesen mintegy 787,51 km<sup>2</sup> területre tartalmaznak adatokat, kb. 30 m-esnek megfelelő felbontásban. Ez alapján a legveszélyesebbnek becsült 1%-hoz (99–100% kategória) kb. 7,9 km<sup>2</sup>, a 95–99% kategóriához pedig mintegy 31,5 km<sup>2</sup> terület tartozik. Az OFK adatbázisában jelzett felszínmozgások a teljes területnek kb. 1,07%-át fedik le, ez megközelítőleg 8,4 km<sup>2</sup>.

A legveszélyesebb, felső 5%-ba tartozó területekre magas, 18° fölötti lejtőszög és északias, északnyugatis kitettség jellemző. Az ebbe a kategóriába tartozó területek legnagyobb része, mintegy kétharmada lösszel fedett. Itt ezen kívül folyóvízi üledékek és az idősebb törmelékes üledékek vannak még jelen jelentősebb arányban, a többi kategóriába tartozó kőzetek aránya igen csekély (3. táblázat). A löszös területek nagy súlya a felszínmozgásra hajlamosabbnak becsült területek között nagyrészt megfelel a területtel foglalkozó szakirodalomban írtaknak (pl. FODOR T. et al. 1983; SCHAREK, P. et al. 2000; JUHÁSZ Á. 2002; ALBERT G. 2013; KIS É. – BALOGH J. 2013).



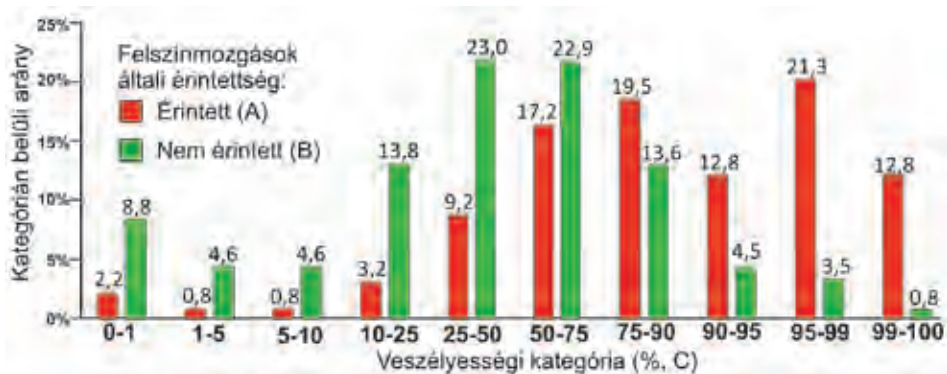
6. ábra Relatív felszínmozgás-veszélyességi térkép  
Figure 6 Relative landslide hazard map. – A – level of estimated landslide hazard; B – NLC landslide site

### 3. táblázat – Table 3

A legveszélyesebb 5%-hoz tartozó terület kategorizált felszíni földtani jellemzői  
Categorized surface geology features of the study area's most hazardous 5%

Földtani kategória	Terület (%)
Cementált (negyedidőszaknál idősebb) törmelékes üledékek	9,01
Folyóvízi üledékek	20,50
Cementált fiatal (negyedidőszaki) karbonátos kőzetek	1,74
Löszök	66,89
Idős karbonátok	0,06
Negyedidőszaki áthalmozott, lejtőn mozgó törmelékes üledékek	1,79

Az eredmények pontosságáról információt szolgáltathat az is, hogy az OFK adatbázisában szereplő, tehát a felszínmozgásokkal korábban már biztosan érintett területek mekkora része esik az egyes kategóriákba (7. ábra). Ezen adatok alapján a kataszterben is jelzett felszínmozgások jelentős része a becslések szerinti veszélyesebb kategóriákba esik, a kataszterben felszínmozgásokként nem jelölt területeken a veszélyesebb kategóriák aránya viszont már jóval kisebb. A 75%-os veszélyesség alatti értékek így már inkább a nem felszínmozgásokként jelölt területekre jellemzőbbek.



7. ábra Felszínmozgások (A) és nem felszínmozgások területek (B) aránya a relatív felszínmozgás-veszélyességi kategóriákban

Figure 7 Proportion of landslide and non-landslide areas in the relative hazard categories.  
– A – landslide area; B – non-landslide area; C – level of estimated landslide hazard

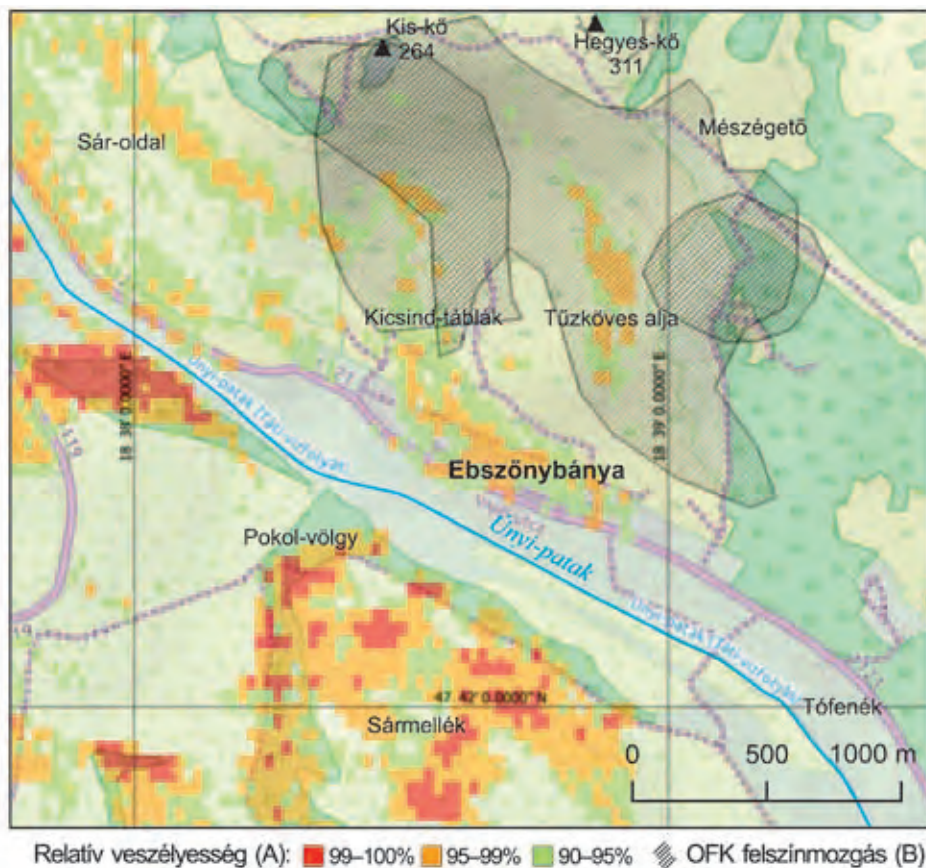
## Az eredmények jellege

Az alkalmazott modell a területen belül már lezajlott és a kataszterbe is felvett felszínmozgások négy tulajdonsága: *magasság*, *meredekség*, *kitettség*, *felszíni földtan* alapján szolgáltat becslést a felszínmozgásra a jövőben hajlamos területek kijelölésére. Ezek között érdemes megkülönböztetni úgynevezett *globális* és *lokális* paramétereket. Az előbbiekhöz tartozó relatív valószínűségi értékek (pl.  $P_{mer}$ ) akár a mintaterülettől távolabb eső helyszíneken is felhasználhatók hasonló elemzésekhez. Ilyenek a *meredekségre* és az egyes *földtani kategóriákra* meghatározott értékek. Leegyszerűsítve: a meredekebb vagy éppen a löszös lejtők máshol is hajlamosabbak felszínmozgások tevékenységeire (pl. KOVÁCS, I. P. et al. 2015). A lokális paraméterekre meghatározott valószínűségi értékek inkább csak helyi viszonylatban alkalmazhatók, mivel területenként más-más értékek lehetnek hangsúlyosabbak. Ezek közé a *kitettségi* és a *magassági* értékek tartoznak. Belátható, hogy más-más kitettségű vagy éppen más magassági szinten elhelyezkedő lejtők ugyanúgy válhatnak felszínmozgások áldozatává. A Dunának a Dunakanyar utáni magyarországi szakaszán például inkább a keleties kitettségű magaspartonokon jellemzőek a felszínmozgások, a gercsei mintaterületen a kataszteri adatok szerint viszont a Duna irányába lejtő, többnyire északias részekon vannak túlsúlyban.

A modell lehetőséget ad arra, hogy a relatív veszélyességi értéket kevesebb változó relatív valószínűségének felhasználásával számoljuk ki (pl. csak globális vagy lokális változókkal). A pontosabb eredmények elérése érdekében és a megfelelő minőségű és mennyiségű adat birtokában azonban érdemes mind a négy paraméternek a vizsgált mintaterületre vonatkozó értékeivel elvégezni az elemzést.

A relatív valószínűségi értékek ( $P$ ) fentebb ismertetett jellegéből adódik, hogy néhány délies kitettségű felszínmozgások terület alacsony kitettség szerinti relatív valószínűségi értékeket kapott, ezért egy kevésbé veszélyesnek becsült kategóriába került. Néhány helyen viszont előfordul az is, hogy a kevésbé veszélyesnek jelzett, a kataszterben szereplő délies kitettségű lejtőkkel szemközt, északias részek már a legveszélyesebb kategóriák egyikébe tartoznak. Ez utalhat az alkalmazott modell hiányosságaira, de rávilágíthat a kataszteri adatok hiányosságára vagy pontatlanságára is. Az ilyen területekre vonatkozó adatokat érdemes a korábbi vagy új észlelésekre támaszkodva ellenőrizni. Ilyenek például az

Ebszönybánya környéki (8. ábra) vagy Bikolpusztától K-re, a Büdös-patak mentén elhelyezkedő területek (9. ábra). Utóbbi az MFGI nyomtatott kéziratot földtani térképe (MÁFI, 2009.) szerint idős, csuszamlásra nem hajlamos kréta homokkövek szálkibukkanásait is magába foglalja, ami az OFK hibájára is utalhat.

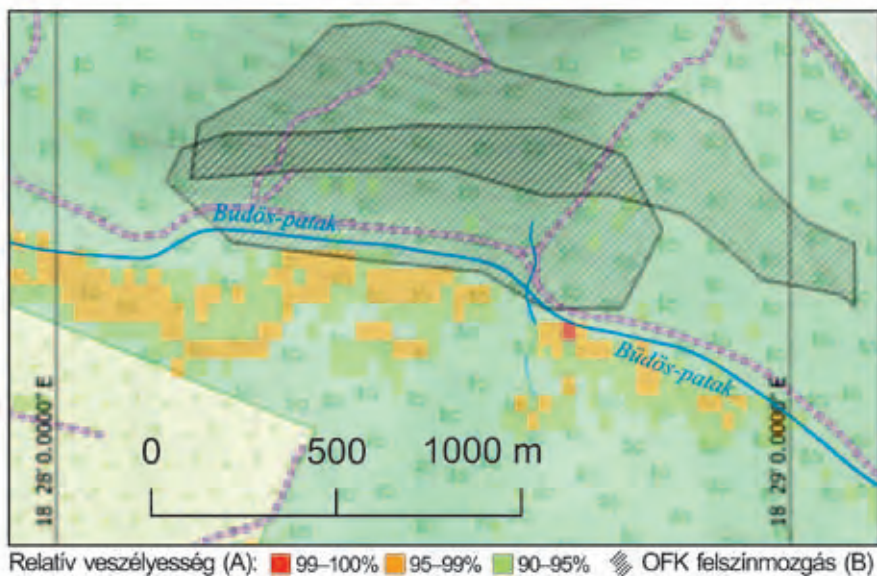


8. ábra Az OFK-ban szereplő felszínmozgások és magas relatív veszélyesséű területek Ebszönybánya környékén  
 Figure 8 NLC landslide sites and areas of high landslide hazard level near Ebszönybánya.  
 – A – level of estimated landslide hazard; B – NLC landslide site

## Összefoglalás

A Gerecse hegység területén ma is aktívak a különböző felszínmozgásos folyamatok, amit a kutatás kiegészítéseként elvégzett terepi bejárás észlelései is megerősítenek. A felszínmozgások általi veszélyeztetettség különösen igaz a dunai magaspartokra, illetve a Duna felé alacsonyodó lejtőkre, az ilyen területeken elhelyezkedő településeken pedig komoly veszélyforrást is jelentenek. A kutatás során az SRTM-1 magasságmodellből levezetett geomorfometriai paraméterek, a területre vonatkozó földtani adatok és az OFK adatainak felhasználásával relatív felszínmozgás-veszélyességi értékeket határoztunk meg a Gerecse





9. ábra Az OFK-ban szereplő felszínmozgások és magas relatív veszélyességű területek a Büdös-patak mentén

Figure 9 NLC landslide sites and areas of high landslide hazard level along the Büdös Creek.  
– A – level of estimated landslide hazard; B – NLC landslide site

hegység területére kb. 30×30 m-esnek megfelelő felbontásban. Ezen értékek alapján relatív felszínmozgás-veszélyességi térkép is készült a teljes területről. A relatív felszínmozgás-veszélyességi érték jelen esetben arról szolgáltat információt, hogy egy terület a többi-hez képest a vizsgált négy jellemző (magasság, meredekség, kitettség és felszíni földtani tulajdonságok) alapján milyen mértékben hasonlít a felszínmozgás-kataszterben szereplő 50 felszínmozgás területére. Megjegyzendő, hogy a területre az OFK adatbázisában nagyrészt az 1970–80-as években felvett adatok szerepelnek, a közelmúltban lezajlott felszínmozgások nem. A kimaradó területek között van például a 2010-ben Dunaszentmiklós belterületén jelentős károkat okozott lejtőcsuszamlás is. A kataszterbe felvett adatok bővítése így indokolt, az erre irányuló munkáknak az itt bemutatott eredmények is alapjául szolgálhatnak. Az elemzések eredményei továbbá jó kiegészítői lehetnek a terület felszínmozgásait nem geostatistikai alapon vizsgáló kutatásoknak is. Emellett akár komplexebb felszínmozgás-érzékenységi vizsgálatokhoz is felhasználhatók, amelyek pl. közgazdasági tényezőket is figyelembe véve nem csak az esetlegesen bekövetkező felszínmozgások lehetséges helyéről, hanem az általuk okozott kár becsült mértékéről is információt szolgáltatnak.

GERZSENYI DÁVID

ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest  
gerzsd@map.elte.hu

ALBERT GÁSPÁR

ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest  
albert@ludens.elte.hu



## IRODALOM

- ALBERT G. 2013: A kőpatak völgye. – *Természet Világa*, 144. 2. pp. 85–86.
- ÁDÁM L. 1985: A Neszmély–Dunaalmás–Dunaszentmiklós közötti felszínmozgásos terület 1:10 000-es méretarányú geomorfológiai térképének magyarázója. – In: ÁDÁM L. – PÉCSI M. (szerk.): *Mérnökgeomorfológiai térképezés*. Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. pp. 108–167.
- BALOGH J. – SCHWEITZER F. 2011: Felszínmozgásos folyamatok a Duna Gönyű–Mohács közötti magasparti szakaszain. – In: SCHWEITZER F. (szerk.): *Katasztrófák tanulságai: Stratégia jellegű természetföldrajzi kutatások*. Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. pp. 101–142.
- BLAGA, L. 2012: Aspects regarding the significance of the curvature types and values in the studies of geomorphometry assisted by GIS. – *Analele Universităţii din Oradea. Seria Geografie* 22. 2. pp. 327–337.
- BUDAI T. – GYALOG L. (szerk.) 2010: Magyarország földtani atlasza országjáróknak. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- CHUNG, C. 2005: Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment. – *Computers & Geosciences*, 32. pp. 1052–1068.
- CONRAD, O. – BECHTEL, B. – BOCK, M. – DIETRICH, H. – FISCHER, E. – GERLITZ, L. – WEHBERG, J. – WICHMANN, V. – BÖHNER, J. 2015: System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. – *Geoscientific Model Development*.
- DAVIS, J. C. – CHUNG, C. – OHLMACHER, G. 2006: Two models for evaluating landslide hazards. – *Computers & Geosciences* 32. pp. 1120–1127.
- FARR, T. G. – ROSEN, P. A. – CARO, E. – CRIPPEN, R. – DUREN, R. – HENSLEY, S. – ... – ALSDORF, D. 2007: The Shuttle Radar Topography Mission. – *Rev. Geophys* 45. RG2004.
- FODOR T. – SCHEUER GY. – SCHWEITZER F. 1983: A Gerecse-hegység északi területének felszínmozgásai. – *Mérnökgeológiai Szemle* 31. pp. 107–125.
- GUTH, P. L. 2010: Geomorphometric comparison of ASTER GDEM and SRTM. – In: A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto in conjunction with ASPRS/CaGIS.
- GYALOG L. (szerk.) 2005: *Magyarázó Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása)*. – Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Budapest.
- GYALOG L. – SIKHEGYI F. 2005: Magyarország földtani térképe, (1 : 100 000). – Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Budapest. <https://map.mfgi.hu/fdt100/> (2017.06.26.)
- Google: Google maps; Domborzati (terrain) nézet a Gerecse környékére. <https://goo.gl/maps/K4wSvjgMb2Q2> (2016.12.05.)
- HARALICK, R. M. 1983: Ridges and Valleys on Digital Images. – *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 22. pp. 28–38.
- HOFTON, M. – DUBAYAH, R. – BLAIR, J. – RABINE, D. 2006: Validation of SRTM elevations over vegetated and non-vegetated terrain using medium footprint lidar. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 72. 3. pp. 279–285.
- JÓZSA, E. 2015: An evaluation of EU-DEM and SRTM1 in comparison with ASTER GDEM, SRTM3 and reference DEMs. – *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában, VI.: Térinformatikai konferencia és szakkiállítás*, Pécs.
- JUHÁSZ Á. 2002: A Dunántúli-középhegység. – In: KARÁTSZON D. (szerk.): *Magyarország földje*. Magyar Könyvklub, Budapest. pp. 339–354.
- KELE S. 2009: Édesvízi mészkövek vizsgálata a Kárpát-medencéből: paleoklimatológiai és szedimentológiai elemzések. – *Doktori értekezés*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, 176 p.
- KIS É. – BALOGH J. 2013: A Gerecse felszínmozgásos területei. – In: KIS É. (szerk.): *Terresztrikus domborzatfejlődés a Vértes és a Gerecse környezetében a bértaváriumiól a holocénig*. – Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest. pp. 121–137.
- KOVÁCS, I. P. – FÁBIÁN, Á. S. – RADVÁNSZKY, B. – VARGA, G. 2015: Dunaszekcső Castle Hill: Landslides Along the Danubian Loess Bluff. – In: LÓCZY, D. (szerk.): *Landscapes and Landforms of Hungary* – Springer. pp. 113–120.
- Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) 2009: A Vértes és a Gerecse földtani térképsorozata, Lábatlan szelvény (1:10 000).
- Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH): Országos Felszínmozgás Kataszter. <http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=676&lng=1> (2016.12.5.)
- MAGYAR, I. – RADIVOJEVIĆ, D. – SZTANÓ, O. – SYNÁK, R. – UJSZÁSZI, K. – PÓCSIK, M. 2013: Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene. – *Global and Planetary Change* 103. pp. 168–173.
- PARISE, M. 2001: *Landslide Mapping Techniques and Their Use in the Assessment of the Landslide Hazard. – Physics and Chemistry of the Earth. Part C: Solar Terrestrial & Planetary Science*, 26. 9. pp. 697–703.

- PÉCSI M. – JUHÁSZ Á. – SCHWEITZER F. 1976: Magyarországi felszínmozgások területek térképezése. – Földrajzi Értesítő 25. 2–4. pp. 223–235.
- RAINCSÁKNÉ KOSÁRY Zs. 1979: Budapest építésalkalmassági térképe (1:40 000). – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs. – BRAUCHER, R. – NOVOTHNY, Á. – CSILLAG, G. – FODOR, L. – MOLNÁR, G. – ... – ASTER Team 2016: Tectonic and climatic control on terrace formation: Coupling in situ produced  $^{10}\text{Be}$  depth profiles and luminescence approach, Danube River, Hungary, Central Europe. – Quaternary Science Reviews 131. pp. 127–147.
- SCHAREK, P. – HERMANN, P. – KAISER, M. – PRISTAČ, J. 2000: Map of genetic types and Thickness of Quaternary sediments. – In: CSÁSZÁR, G. (szerk.): Dunube Region Enviromental Geology Programe (DANREG). – Geologische Bundesanstalt (a Magyar Állami Földtani Intézet közreműködésével), Wien. – 142. 4. pp. 447–454.
- SCHUEER GY. – SCHWEITZER F. 1988: A Gerece és a Budai-hegység édesvízi mészkőösszletei. – Földrajzi Tanulmányok, 20. Akadémiai Kiadó, Budapest. 131 p.
- SCHWEITZER, F. 1989: Surface movements of the Gerece Mountain's northern part. – Selected enviromental studies. Geographical Research Institute of HAS, Budapest. pp. 34–35.
- SHORTRIDGE, A. – MESSINA, J. 2011: Spatial structure and landscape associations of SRTM error. – Remote Sensing of Enviroment 115. pp. 1576–1587.
- TÖRÖK E. 1983: Budapest mérnökgeológiai térképezése. – Földtani Kutatás, 26. 4. pp. 26–38.
- VARNES, D. J. 1978: Slope Movement Types and Processes. – In: SCHUSTER, R. L. (szerk.): Landslides: Analysis and Control. pp. 11–33.
- VÁRSZEGI K. 1984: Baranya megye felszínmozgások területeinek mérnökgeológiai értékelése. – Mérnökgeológiai Szemle 32. pp. 87–95.
- VIGH GY. 1931: A neszélyi földcsúszások helyszínrajza és földtani térképe 1931 április havában. – Kézirat [az Országos Földtani Szakkönyvtár állományában].